



⑩ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ Offenlegungsschrift
⑩ DE 101 36 219 A 1

⑤ Int. Cl.⁷:
G 01 N 3/40
G 01 N 27/22
G 01 P 15/125

⑪ Aktenzeichen: 101 36 219.6
⑫ Anmeldetag: 25. 7. 2001
⑬ Offenlegungstag: 6. 2. 2003

⑪ Anmelder:
Conti Temic microelectronic GmbH, 90411
Nürnberg, DE

⑫ Erfinder:
Cramer, Wolfgang, 73277 Owen, DE

⑮ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
zu ziehende Druckschriften:

DE 199 24 369 A1
DE 196 51 384 A1
WO 86 05 880 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑯ Verfahren zur Dichtigkeitsprüfung von kapazitiven Sensoren

⑰ Bekannte Dichtigkeitsprüfverfahren können aufgrund des extrem geringen Volumens der Sensorkavität oder auf Waferebene nicht angewendet werden. Andere bekannte Dichtigkeits-Prüfverfahren sind beispielsweise wegen der Verwendung von Radionukliden nur unter hohem Sicherheitsaufwand möglich.

Verfahren zur Dichtigkeitsprüfung von in einem hermetisch dichten Gehäuse angeordneten kapazitiven Sensoren, wobei die prozessierten Sensoren in Form eines Wafers angeordnet sind, das dadurch gekennzeichnet ist, dass der bereits gesägte Wafer mit den Sensoren unter definierten Bedingungen in eine Prüfflüssigkeit eingetaucht, anschließend die Kapazität jedes Sensors gemessen und mit der Kapazität von Referenzsensoren verglichen wird.

Die Erfindung eignet sich insbesondere zur Dichtigkeitsprüfung kapazitiver, hermetisch dichter Sensoren.

DE 101 36 219 A 1

DE 101 36 219 A 1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Dichtigkeitsprüfung von in einem hermetisch dichten Gehäuse angeordneten kapazitiven Sensoren nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

[0002] In Oberflächen-Mikromechanik hergestellte Beschleunigungssensoren arbeiten häufig nach dem kapazitiven Messprinzip. Ein derartiger Beschleunigungssensor ist in Fig. 4a dargestellt. Das kapazitive Messprinzip besteht darin, dass eine bewegliche Probemasse mit seitlich angebrachten Elektrodenkämmen (sogenannten moving finger) an winzigen Siliziumfedern aufgehängt ist, so dass sie bei Beschleunigungen in der sensitiven Richtung ausgelenkt wird. Dabei wird die Kapazität zwischen den festen und den beweglichen Elektroden auf einer Seite der Probemasse erhöht und auf der anderen Seite erniedrigt. Die elektrisch voneinander isolierten Sensorfinger bilden somit einen differentiellen Kondensator mit einer Kapazität um 600 fF.

[0003] Für die prozessierten Wafer ist als Schutz gegen Feuchte, Partikel und sonstige mechanische Einflüsse eine Abdeckung in Form eines hermetisch abdichtenden Deckels aus Silizium oder einem ähnlichen Material unbedingt erforderlich.

[0004] Bekannte Leck- und Dichtigkeitsprüfverfahren zum Prüfen der Hermeticität nach MIL- oder EN-Norm (zum Beispiel "bubble test" oder "Gross Leak" nach MIL-Methode 1014) können aufgrund des extrem geringen Volumens der Sensorkavität nicht angewendet werden. Andere bekannte Dichtheits-Prüfverfahren sind entweder auf Waferebene nicht anwendbar oder wegen ihres hohen Risikos beispielsweise wegen der Verwendung von Radioisotopen wie Krypton 85 nur unter hohem Sicherheitsaufwand möglich und daher wegen zu hoher Kosten für die Serienproduktion nicht einsetzbar.

[0005] Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Prüfverfahren nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 anzugeben, mit dem kapazitive Sensoren kostengünstig, zuverlässig und auf umweltfreundliche Art und Weise auf Dichtigkeit geprüft werden können.

[0006] Gelöst wird diese Aufgabe durch ein Verfahren mit den im Anspruch 1 angegebenen Merkmalen.

[0007] Das Verfahren nach Anspruch 1 weist die Vorteile auf, dass durch die in die Kavität eindringende Prüfflüssigkeit mit definierten dielektrischen Eigenschaften kleinste Undichtigkeiten bis in den sogenannten "Gross-Leak-Bereich" (10^{-3} bis 10^{-5} mbar · dm³ · s⁻¹) durch deutlich messbare Kapazitätsänderungen erkannt werden. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass die Prüfmethode als "In-Line-Prüfverfahren" anwendbar ist, d. h. die Dichtheits-Prüfung ist auf Waferebene als 100%-Prüfung in den normalen Waffertest ohne zusätzlichen Prüfzeitaufwand integrierbar. Weiterhin sind durch die Verwendung der Prüfflüssigkeiten keine negativen Auswirkungen (Schädigung durch Oxidation, Korrosion etc.) auf den Prüfling zu erwarten. Eine Reaktion mit der auf Folie aufgespannten Wafer ist ebenfalls nicht zu erwarten.

[0008] Die Erfindung eignet sich insbesondere zur Leck- und Dichtigkeitsprüfung für mikromechanisch aufgebaute und hermetisch abgeschlossene kapazitive Sensoren, insbesondere Beschleunigungssensoren.

[0009] Vorteilhafte Ausgestaltungen des Verfahrens nach Anspruch 1 sind in den Unteransprüchen angegeben.

[0010] Die Erfindung wird nun anhand eines Ausführungsbeispiels unter Zuhilfenahme der Zeichnung erläutert.

[0011] Es zeigen

[0012] Fig. 1 den typischen Verlauf der Kapazität über der Spannung eines dichten Beschleunigungssensors,

[0013] Fig. 2 den typischen Verlauf der Kapazität über der Spannung eines undichten Beschleunigungssensors mit hoher Leckrate,

[0014] Fig. 3a den typischen Verlauf der Kapazität über der Spannung eines undichten Beschleunigungssensors mit niedriger Leckrate und

[0015] Fig. 3b eine Ausschnittsvergrößerung des Verlaufs nach Fig. 3a,

[0016] Fig. 4a der prinzipielle Aufbau eines mikromechanischen Beschleunigungssensors,

[0017] Fig. 4b die prinzipielle Wirkungsweise des Beschleunigungssensors nach Fig. 4a und

[0018] Fig. 4c das Ersatzschaltbild für den Beschleunigungssensor nach Fig. 4a.

[0019] Die Fig. 4a zeigt den prinzipiellen Aufbau eines mikromechanisch hergestellten, kapazitiven Beschleunigungssensors 1. Auf einem n-leitenden Substrat 2 (Bodenwafer) und einer isolierenden SiO₂-Schicht 3 sind als eine erste Kapazität C1 eine erste feste Kamm-Elektrode 4 mit

Fingern 5 und als eine zweite Kapazität C2 eine zweite feste Kamm-Elektrode 6 mit Fingern 7 angeordnet. Zwischen der ersten festen Kamm-Elektrode 4 und der zweiten festen Kamm-Elektrode 6 befindet sich eine in Richtung eines Pfeils 8 bewegliche Elektrode 9 mit Fingern 10 als seismische Masse. Die bewegliche Elektrode 9 ist mittels zweier Arme 11 an zwei festen Halteblöcken 12 befestigt. Ein Anschlag 13 verhindert, dass die Finger 10 die Finger 5 bzw. 7 berühren. Schließlich sorgt eine Abdeckung in Form eines hermetisch abdichtenden Deckels 21 aus Silizium oder ähnlichen Materialien dafür, dass der kapazitive Beschleunigungssensor 1 gegen äußere Einflüsse geschützt ist.

[0020] Wirkt auf die bewegliche Elektrode 9 als seismische Masse eine Beschleunigungskraft ein, so wird sie in ihrer sensitiven Richtung gemäß des Pfeils 8 ausgelenkt. Dabei wird die eine der beiden Kapazitäten C1 bzw. C2 zwischen der beweglichen Elektrode 9 und der festen Kamm-Elektrode 4 bzw. 6 erhöht, während gleichzeitig die andere der beiden Kapazitäten C1 bzw. C2 erniedrigt wird.

[0021] Diese prinzipielle Wirkungsweise ist in Fig. 4b dargestellt. Die Finger 5 der ersten festen Kamm-Elektrode 4 bilden die Kapazität C1, während die Kapazität C2 von den Fingern 7 der zweiten festen Kamm-Elektrode 6 gebildet wird. Die Kapazität C1 wird zwischen einem Anschluss W1 (wall 1) der ersten festen Kamm-Elektrode 4 und einem Mittelabgriff c (center) der beweglichen Elektrode 9 gemessen, die Kapazität C2 zwischen einem Anschluss W2 (wall 2) der zweiten festen Kamm-Elektrode 6 und dem Mittelabgriff c der beweglichen Elektrode 9.

[0022] Bei der durch Beschleunigungskräfte verursachten Bewegung der beweglichen Elektrode 9 in Richtung des Pfeils 8 verändern sich die Kapazitäten C1 und C2 auf bereits beschriebene Art und Weise. Die elektrisch von einander isolierten Finger 5, 7 bzw. 10 bilden einen differentiellen Kondensator mit einer Kapazität von einigen hundert fF bis ungefähr 600 fF.

[0023] Daraus ergibt sich für den Beschleunigungssensor 1 das in Fig. 4c dargestellte Ersatzschaltbild, bestehend aus den veränderlichen Kapazitäten C1 und C2, wobei sich jede Kapazität C1 und C2 aus wenigstens zwei parallel geschalteten Kapazitäten zusammen setzt. Erhöht sich aufgrund von Beschleunigungskräften die Kapazität C1 um einen bestimmten Wert, erniedrigt sich die Kapazität C2 um diesen Wert und umgekehrt.

Ablauf der elektrischen Prüfmethode

[0024] Die Deckel 21 der fertig prozessierten Wafer werden entweder bis zum Bodenwafer 2 als Sensorelemente

oder die Sensoren 1 als DIE's komplett auf der Wafersäge frei gesägt. Anschließend wird der gesägte Wafer in einen Behälter gebracht und darin einem Vakuum von $5 \cdot 10^{-1}$ mbar eine halbe Stunde lang ausgesetzt. Nach der Flutung mit einer geeigneten Prüflüssigkeit, beispielsweise mit Flourinert Dielektrika Typ 3M FC40 (DK 1,9), PC72, FC75 oder FC77, ist der Prüfling einer weiteren halben Stunde lang dem Vakuum ausgesetzt. Hierbei muss der Wafer vollständig von der Prüflüssigkeit umschlossen sein.

[0025] Nach dem Ausgleichen des Vakuums auf Normaldruck verbleibt der Wafer im gleichen Behälter und ist in das gleiche Prüfmedium eingetaucht. Danach wird ein definiter Überdruck im Behälter von 8 bar erzeugt und der Prüfling 1 Stunde lang diesen Bedingungen ausgesetzt.

[0026] Die Entnahme des Prüflings (Wafer) erfolgt nach Abpumpen der Prüflüssigkeit und dem Öffnen des Behälters. Zweckmäßig sind zwei Minuten Abtropfzeit bei Schräglage des Wafers, bevor der Wafer aus dem Behälter entnommen wird. Nach einem leichten Abblasen des Wafers mit einem Stickstoffstrahl wird der Wafer zum Trocknen bei Raumtemperatur in einer Stickstoffbox gelagert. Nicht vollständig von der Oberfläche des Wafers entfernte Prüflüssigkeit verdampft hierbei innerhalb einer Zeit von 15 Minuten rückstandsfrei. Eine elektrische Prüfung des Wafers (Wafer-test) muss nun innerhalb von 12 Stunden erfolgen.

Wafertest

[0027] Wie schon erwähnt, wird eine undichte Sensorkapazität durch Zunahme der Sensor-Kapazität messtechnisch mittels eines LCR-Meters unter den festgelegten Testkonditionen erkannt ($f = 400$ kHz; $U = 0,5$ V_{rms} für C [Kapazität] und C_{pD} [Kapazität mit Dissipation Faktor, Ersatzschaltung mit einem angenommenen Parallelwiderstand zum Kondensator]).

[0028] Je nach verwendeter Prüflüssigkeit mit einer bestimmten Dielektrizitätskonstanten (DK) ist bei größeren Leckraten (ca. 10^{-2} mbar · dm³ · s⁻¹) durch Eindringen der Prüflüssigkeit mit einer fast vollständigen Benetzung der Sensorfingersstruktur zu rechnen. Die Kapazität der Sensorfinger 5, 7, 10 in Ruhelage erhöht sich hierbei um den Faktor DK. Die Kapazitätszunahme unterscheidet sich hierbei deutlich von dichten Referenzsensoren und ist als eindeutiges Prüfkriterium innerhalb des Wafertests anwendbar.

[0029] In Fig. 1 ist der typische Verlauf der Kapazität über der Spannung eines dichten Beschleunigungssensors 1 dargestellt, seine sogenannte CV-Charakteristik (C steht für die Kapazität, V steht für die Spannung). Dabei zeigt eine erste Kurve 14 die zwischen dem Messpunkt W1 und dem Mittelabgriff c gemessene Kapazität des ersten veränderbaren Kondensators C1 und eine zweite Kurve 15 die zwischen dem Messpunkt W2 und dem Mittelabgriff c gemessene Kapazität des zweiten veränderbaren Kondensators C2. Beide Messungen zeigen für beide veränderbare Kondensatoren C1 und C2 einen zur Spannungsachse symmetrischen Verlauf der Sensorcharakteristik.

[0030] In Fig. 2 sind drei Kurvenverläufe der Kapazität über der Spannung eines undichten Beschleunigungssensors 1 mit hoher Leckrate (ca. 10^{-2} mbar · dm³ · s⁻¹) dargestellt. Eine erste Kurve 16 zeigt den Verlauf der veränderbaren Kapazität C1 oder C2, bevor der Beschleunigungssensor 1 der beschriebenen Dichtigkeitsprüfung unterzogen worden ist. Die Kurve 16 zeigt einen zur Spannungsachse symmetrischen Verlauf der Sensorcharakteristik.

[0031] Eine zweite Kurve 17 zeigt den Verlauf der veränderbaren Kapazität C1 oder C2, unmittelbar nachdem der Beschleunigungssensor 1 der beschriebenen Dichtigkeitsprüfung unterzogen worden ist. Die Kurve 17 zeigt einen

zur Spannungsachse deutlich unsymmetrischen Verlauf der Sensorcharakteristik, wobei ein sehr steiler Anstieg der Kapazität einerseits bei +3,3 V und andererseits bei -2,8 V erfolgt. Durch Eindringen der Prüflüssigkeit hat sich die Kapazität der veränderbaren Kondensatoren C1 oder C2 ungefähr verdoppelt.

[0032] Eine dritte Kurve 18 zeigt den Verlauf der veränderbaren Kapazität C1 oder C2, 48 Stunden nachdem der Beschleunigungssensor 1 der beschriebenen Dichtigkeitsprüfung unterzogen worden ist. Die Kurve 18 zeigt wiederum einen zur Spannungsachse deutlich unsymmetrischen Verlauf der Sensorcharakteristik, wobei ein sehr steiler Anstieg der Kapazität einerseits bei +4,0 V und andererseits bei -3,6 V erfolgt. Aus dem Verlauf der Kurve 18 geht hervor, dass auch 48 Stunden nach Durchführen des beschriebenen Dichtigkeitstests ein undichter Beschleunigungssensor 1 noch sicher von einem dichten unterschieden werden kann.

[0033] Für kleinere Leckraten im Bereich von ca. 10^{-4} mbar · dm³ · s⁻¹ ist eine erweiterte elektrische Prüfmethode erforderlich, wie sie im folgenden beschrieben wird.

Ablauf der erweiterten elektrischen Prüfmethode

[0034] Das Wirkprinzip der erweiterten elektrischen Prüfmethode ist, dass winzige eingedrungene Partikel der Prüflüssigkeit auf den Sensorfingern 5, 7 und 10 (Fig. 4a, b) haften bleiben. Durch Influenz werden diese Flourinert Dielektrika im elektrischen Feld polarisiert. Eindringende Partikel der Prüflüssigkeit bewirken eine elektrisch messbare Beeinflussung der Sensorcharakteristik.

[0035] Während der Kapazitätsmessung wird eine zusätzliche Gleichspannung (Bias) der Mess-Wechselspannung überlagert. Hierbei wird die bewegliche Sensorstruktur 9 mit ihren Fingern (moving finger) 10 durch das erzeugte elektrische Kraftfeld bis in den Bereich des Anschlags 13 (over force stopper) bewegt.

[0036] Die hierzu erforderliche Bias-Spannung liegt bei den gemessenen Sensoren 1 bei 4,5 Volt und prüft das Sensorverhalten in beiden Polaritätsrichtungen (+4,5 V und -4,5 V). Die hohe Bias-Spannung bewirkt durch das erzeugte große elektrische Kraftfeld eine starke Anziehung der moving finger 10, was zu einem minimalen Plattenabstand führt.

[0037] Eine CV-Charakterisierung an dichten Referenzsensoren zeigt, wie bereits beschrieben und in Fig. 1 dargestellt, einen symmetrischen und typischen hyperbolischen Verlauf der Kapazität bis in den Anschlagsbereich (over force stopper). Bei undichten Sensoren 1 ist dieser symmetrische Verlauf der Sensorkapazität nachhaltig gestört.

[0038] Ursache hierfür sind in die Kavität eingedrungene, partiell an den Sensorfingern 5, 7 und 10 anhaftende und polarisierte Partikel der Prüflüssigkeit. Hierbei bewirken Oberflächenkräfte eine lokale Verstärkung der Anziehungs- bzw. Abstoßungsreaktionen zwischen den Sensorfingern 5, 7 und 10. Durch die auftretende hohe Feldstärkekonzentration kommt es in diesem Bereich zu einer elastischen Verformung der Fingerstruktur 5, 7 und 10 und dabei zu einer weiteren Verringerung des Abstandes, der im Extremfall zu einer Berührung der betreffenden Finger 5, 7 und 10 führen kann.

[0039] Dieses Sensorverhalten ist an der CV-Charakteristik in einer spontanen, vorzeitigen und häufig unsymmetrischen Kapazitätsänderung erkennbar, wie aus den Fig. 3a, b hervor geht. Die Fig. 3a zeigt eine erste Kurve 19, die den typischen Verlauf der Kapazitätsänderung nach der beschriebenen erweiterten Prüfmethode eines dichten Sensors 1 darstellt. Bei einer Spannung von ca. +4,0 V und -4,0 V steigt die Kapazität des Sensors von ca. $7 \cdot 10^{-13}$ F steil an,

bis die Kapazität jeweils bei ca. $1 \cdot 10^{-12}$ F im Anschlagsbereich endet.

[0040] Fig. 3a zeigt noch eine zweite Kurve 20, die den typischen Verlauf der Kapazitätsänderung nach der beschriebenen erweiterten Prüfmethode eines undichten Sensors 1 mit einer Leckrate im Bereich von ca. 10^{-4} mbar · $\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ darstellt. Im positiven Spannungsbereich erfolgt wie bei einem dichten Sensor 1 eine starke Änderung der Kapazität bei ca. +4,0 V von wiederum ca. $7 \cdot 10^{-13}$ F bis ca. $1 \cdot 10^{-12}$ F (Anschlagsbereich). Im Gegensatz hierzu erfolgt die gleich starke Änderung der Kapazität bereits bei -3,5 V, was zum unsymmetrischen Verlauf der Kurve 20 führt, wie aus Fig. 3a deutlich zu entnehmen ist.

[0041] In Fig. 3b ist der starke Anstieg der Kapazität im negativen Spannungsbereich nochmals vergrößert dargestellt. Hieraus wird deutlich, dass der starke Anstieg der Kapazität von ca. $7 \cdot 10^{-13}$ F bis ca. $1 \cdot 10^{-12}$ F im Anschlagsbereich bei beiden Kurven 19, 20 annähernd gleich verläuft, jedoch der starke Kapazitätsanstieg des dichten Sensors 1 gemäß der Kurve 19 bei -4,0 V erfolgt, während der starke Kapazitätsanstieg des undichten Sensors 1 gemäß der Kurve 20 bereits bei -3,5 V erfolgt.

[0042] Mit Hilfe der erweiterten Prüfmethode ist es folglich möglich, die Dichtigkeit bzw. Undichtigkeit eines mikromechanisch hergestellten Sensors 1, der eine Leckrate im Bereich von ca. 10^{-4} mbar · $\text{dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ aufweist, eindeutig festzustellen. Als eindeutiges, elektrisch messbares Prüfkriterium ist es im Rahmen der Parameter-Prüfung in den Wafertest integrierbar.

[0043] Diese erweiterte Prüfmethode ist außerdem geeignet, weitere Schwachstellen des Sensors 1 (sticking, mouse bite, trench derivate, foreign material etc.) an hermetisch dichten Sensoren messtechnisch aufzudecken.

Patentansprüche

35

1. Verfahren zur Dichtigkeitsprüfung von in einem hermetisch dichten Gehäuse angeordneten kapazitiven Sensoren (1), wobei die prozessierten Sensoren (1) in Form eines Wafers angeordnet sind, dadurch gekennzeichnet, dass der bereits gesägte Wafer mit den Sensoren (1) unter definierten Bedingungen in eine Prüfflüssigkeit eingetaucht, anschließend die Kapazität (C1, C2) jedes Sensors (1) gemessen und mit der Kapazität von Referenzsensoren verglichen wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der gesägte Wafer mit den Sensoren (1) vor dem Eintauchen in die Prüfflüssigkeit für einen definierten Zeitraum in einem Behälter ein erstes Mal einem Vakuum ausgesetzt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass nach dem ersten Aussetzen des gesägten Wafers mit den Sensoren (1) im Vakuum der Behälter mit der Prüfflüssigkeit geflutet wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Wafer im Behälter nach der Flutung des Behälters mit der Prüfflüssigkeit ein zweites Mal für einen definierten Zeitraum einem Vakuum ausgesetzt wird.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass nach dem zweiten Aussetzen des gesägten Wafers mit den Sensoren (1) im Vakuum im Behälter der normale Luftdruck hergestellt wird.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass nach dem Herstellen des normalen Luftdrucks im Behälter für einen definierten Zeitraum ein Überdruck hergestellt wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeich-

net, dass nach dem herstellen des Überdrucks der gesägte Wafer mit den Sensoren (1) aus dem Behälter entnommen und getrocknet wird.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass nach der Trocknung des gesägten Wafers mit den Sensoren (1) jeder Sensor (1) auf dem Wafer durch Messung seiner Kapazität (C1, C2) im Wafertest geprüft wird.

9. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass der bereits gesägte Wafer mit den Sensoren (1) für 30 min im Behälter einem Vakuum von $5 \cdot 10^{-1}$ mbar ausgesetzt wird.

10. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Behälter mit der Prüfflüssigkeit Flourinert Dielektrika Typ 3M FC40 geflutet wird.

11. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass der Wafer im Behälter nach der Flutung des Behälters mit der Prüfflüssigkeit ein zweites Mal für 30 min einem Vakuum von $5 \cdot 10^{-1}$ mbar ausgesetzt wird.

12. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass im Behälter für einen definierten Zeitraum von 1 Stunde ein Überdruck von 8 bar hergestellt wird.

13. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass der Wafer zur Trocknung bei Zimmertemperatur für 15 min in einer Stickstoffbox gelagert wird.

14. Verfahren nach Anspruch 1 oder 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Messung der Kapazität (C1, C2) jedes Sensors (1) mittels eines LCR-Meters erfolgt.

15. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass zur Feststellung großer Leckraten die Kapazität (C1, C2) mit einer Mess-Wechselspannung von $U = 0,5 \text{ V}_{\text{rms}}$ und einer Frequenz von $f = 400 \text{ kHz}$ gemessen wird.

16. Verfahren nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass zur Feststellung kleiner Leckraten der Mess-Wechselspannung eine zusätzliche Gleichspannung überlagert wird.

17. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Mess-Wechselspannung zum einen mit einer positiven zusätzlichen Gleichspannung und zum anderen mit einer negativen zusätzlichen Gleichspannung überlagert wird.

18. Verfahren nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass die Mess-Wechselspannung mit einer zusätzlichen Gleichspannung von 4,5 V überlagert wird.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -





